

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Программа одобрена  
на заседании  
Ученого совета ИТПЭ РАН

Протокол № 3  
«05» июня 2019 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор  
д.ф.-м.н.



[Signature] /В.Н. Кисель/  
июня 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Электрофизика, электрофизические установки»**

*(наименование дисциплины)*

Обязательная дисциплина

Направление подготовки:

03.06.01 - Физика и астрономия  
*(код и наименование направления подготовки)*

Направленность подготовки (профиль):

Электрофизика, электрофизические установки  
*(наименование направленности (профиля))*

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения: очная

Москва, 2019 г.

**1. Цели и задачи дисциплины.** Целью курса является исследование закономерностей взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме. Предполагается освоение фундаментальных закономерностей, связанных с распространением электромагнитного излучения в веществе с целью совершенствования и создания новых методов и принципов использования электрофизических явлений в устройствах для реализации электронно- и ионнолучевых, плазменных, лазерных, и СВЧ-технологий.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП.**

Дисциплина относится к **обязательным** дисциплинам программы аспирантуры. Изучается в течение 1, 2 и 3 курсов. Промежуточные формы контроля – зачеты (в конце каждого курса). Итоговая форма контроля – экзамен по специальности, который проводится на первом этапе Государственной итоговой аттестации (4 курс).

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью электрофизических явлений и необходимостью создания различного рода электрофизических устройств и приборов. В курсе используются представления смежных областей физики: квантовой механики, квантовой, электроники, электродинамики.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

1. способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
2. готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
3. способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);
4. способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

Способность к исследованию механизмов взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, а также способность к совершенствованию существующих и поиску новых методов и принципов использования электрофизических явлений в технических приложениях (ПК-1).



#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, в том числе 2,5 ЗЕ аудиторных занятий и 3,5 ЗЕ самостоятельной работы.

#### 5. Содержание разделов дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы занятий	Содержание	Объем	
			Аудиторная работа (часы)	Самостоятельная работа (часы)
1.	Основы электродинамики	Электростатика. Диэлектрики. Магнитостатика. Магнитное поле в веществе. Электромагнитное поле в неподвижной среде. Квазистационарное электромагнитное поле. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Полые резонаторы. Излучение заряженных частиц. Численные методы решения краевых задач электродинамики.	12	24
2.	Основы теории электрических цепей	Линейные цепи. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Цепи с распределенными параметрами. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Синтез линейных электрических цепей. Элементы синтеза четырехполосника. Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме.	12	24
3.	Строение вещества	Газы. Основы кинетической теории газов. Уравнение состояния идеального газа. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса. Плазма. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Исполкание и поглощение фотонов. Диффузия и дрейф частиц. Жидкости. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки. Зонная модель. Явление сверхпроводимости.	12	24
4.	Вещество в сильных электромагнитных полях	Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Газовый разряд. Прохождение тока через жидкость. Проводники, твердые диэлектрики,	12	12

		<p>полупроводники в сильных полях. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях.</p>		
5.	Накопление и коммутация энергии больших мощностей	<p>Пространственно-временная концентрация энергии. Физические ограничения на плотность энергии в накопителях. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Емкостные накопители энергии. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами.</p>	12	12
6.	Физика сильноточных пучков заряженных частиц	<p>Сильноточные пучки в вакууме. Предельный ток, ограниченный пространственным зарядом. Предельный ток Альфвена. Формирование виртуального катода. Сильноточные пучки в плазме и газе. Электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции. Генерация сильноточных электронных и ионных пучков. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Плоский диод в режиме Богуславского-Ленгмюра. Волны и неустойчивости в сильноточных пучках заряженных частиц. Волны в холодной стационарной плазме. Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространственного заряда. Тлеющий, коронный, искровой разряды. Дуговой разряд.</p>	12	12
7.	Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы	<p>Высокочастотные разряды различных типов. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе электрических дуговых разрядов. Плазменные генераторы, использующие высокочастотные разряды разных типов. Емкостной, индуктивный, факельный, СВЧ разряды. Самостоятельные и несамостоятельные разряды в газе. Технологические устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей. Физика приэлектродных процессов в сильноточных дуговых разрядах.</p>	9	9



8. Компьютерные технологии	Компьютер как инструмент научной работы. Математическое моделирование с применением компьютерных технологий. Численные методы решения задач электродинамики. Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационно-разностные методы. Функции Грина. Метод интегральных уравнений. Сравнительный анализ существующих пакетов программ для расчета электродинамических явлений.	9	9
Всего:		90	126

**Самостоятельная работа:**

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	49 часа
2	- решение задач по заданию преподавателя – решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	63 часов
3	-подготовка к зачету	14 часов
<b>ВСЕГО (часов)</b>		<b>126 часов</b>

## 6. Ресурсное обеспечение:

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Физматлит, 2003.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2. Теория поля / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматлит, 2005.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 5. Электродинамика сплошных сред. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматлит, 2005.
4. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. Квантовая механика (нерелятивистская теория). / Издание 6-е, исправленное. — М.: Физматлит, 2004.
5. Савельев И.В. Основы теоретической физики, т.1, т.2 / 2-е изд., М.: Наука. 1991.
6. Попов В.И. Основы теории цепей/ 7-е издание, переработанное и дополненное, Юрайт-Издат, 2013.
7. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. / Издание 5-е, переработанное, М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, т.1. М.: Мир, 1979.
9. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников / Изд.2-е, перераб. и доп.. М.: Наука, 1990.
10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. Изд.3, испр. и доп., М.: URSS, 2009.
11. Лебедев И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот. М.: Высш.шк., 1972.
12. Виноградов А.П. Электродинамика композитных материалов / Под ред. Б.З. Каценеленбаума, М.: Эдиториал УРСС, 2001.
13. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
14. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969.
15. де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: Мир, 1968
16. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
17. Маделунг О. Теория твердого тела. М.: Наука, 1980
18. Шнеерен Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. Изд. 2-е, М.: Энергоатомиздат, 1992.
19. Техника высоких напряжений / Под ред. М.С.Костенко, М.: Высш.шк., 1973.
20. Накопление и коммутация энергии больших плотностей / Под ред. У. Бостика, М.: Мир, 1979.
21. Физика высоких плотностей энергии / Под ред. П. Кальдаролы, Г. Кнопфеля, М.: Мир, 1974.
22. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля, М.: Мир, 1972.
23. Р. Миллер, Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц, М.: Мир, 1984.



24. Е.А. Абрамян, Б.А. Альтеркоп, Г.Д. Кулешов. Интенсивные электронные пучки. Энергоатомиздат, 1984.
25. С.И. Молоковский, А.Д. Сушков. Интенсивны электронные и ионные пучки. 2 изд., М., 1991.
26. Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
27. Смирнов Б. М., Введение в физику плазмы, 2 изд., М., 1982.
28. Биберман Л. М., Воробьёв В. С., Якубов И.Т. Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы, М., 1982.
29. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры, М.: Мир, 1977.
30. Демирчян К.С., Чечурин В.А. Машинные расчеты электромагнитных полей. М.: Высш.шк., 1986.
31. Бутырин П.А., Козьмина И.С., Миронов И.В. Основы компьютерных технологий электротехники. М.: Изд-во МАИ, 2000.
32. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры, М.: Мир, 1977.

#### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Пименов Ю.В., Вольман В.И., Муравцов А.Д. Техническая электродинамика / Под ред. Ю.В. Пименова, М.: Радио и связь, 2000.
2. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн, М.: Радио и связь, 2000.
3. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. / Изд. 2-ое, М.: URSS, 2012.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. / Изд. 6-ое, М.: URSS, 2012
5. Григорьев А.Д. Электродинамика и техника СВЧ, М.: Высш.шк., 1990.
6. Черенкова Е.Л., Чернышов О.В. Распространение радиоволн, М.: Радио и связь, 1988.
7. М.М.Бредов, В.В.Румянцев, И.Н.Топтыгин. Классическая электродинамика. Санкт Петербург, Москва, Краснодар: Лань, 2003.
8. P. S. Neelakanta, Handbook of electromagnetic materials, IEEE Press, 1995.
9. A.N. Lagarkov and K.N. Rozanov, "High-frequency behavior of magnetic composites," J. Magn. Magn. Mater., vol. 321, pp. 2082–2092, Jul. 2009.
10. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. – 4 изд./ – СПб.: Питер, 2003.
11. Купцов А. М. Основы теории цепей. Томск: Изд. ТПУ, ч.1 2001, ч.2, 2000.
12. Купцов А. М. Теоретические основы электротехники. Решения типовых задач. – Томск: Изд. ТПУ, ч.1, 2003, ч. 2, 2001.



13. Каганов В.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебное пособие. М.: Инфра-М, 2005.
14. Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел. М.: ИЛ, 1956.
15. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.: ГИФМЛ, 1963.
16. Займан Дж. Электроны и фононы. Теория явлений переноса в твердых телах. М.: ИЛ, 1962.
17. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969.
18. Бурцев В.А., Калинин Н.В., Лучинский А.В. Электрический взрыв проводников и его применение в электрофизических установках. М.: Энергоатомиздат, 1990.
19. Л.О.Чуа, Лен-Мин Лин Машинный анализ электронных схем. М.: Энергия, 1980.

## **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

Ссылки на ресурсы приведены в ООП.

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Институт располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебными планами аспирантов, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Лаборатории Института оснащены оборудованием для проведения научных исследований в области электрофизики, электродинамики, техники СВЧ и родственных направлений в соответствии с паспортом специальности.

В Институте построены уникальные установки для экспериментальных исследований.

Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской – для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

### **8. Образовательные технологии. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.**

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.



**9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.**

**Контрольные темы для проведения текущего контроля:**

**1. Основы электродинамики**

1. Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Двойной электрический слой.
2. Энергия взаимодействия электрических зарядов. Энергия электрического поля. Пондеромоторные силы.
3. Методы решения задач электростатики.
4. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Уравнения электрического поля в произвольной среде. Пондеромоторные силы в диэлектриках. Энергия электрического поля в диэлектриках. Тензор напряжений электрического поля.
5. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.
6. Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Векторный потенциал магнитного поля. Уравнения магнитного поля. Потенциальные и соленоидальные магнитные поля. Граничные условия в магнитном поле токов. Пондеромоторные силы в магнитном поле. Взаимная индукция и самоиндукция линейных проводников.
7. Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Механизм намагничивания магнетиков. Теорема Лармора. Диамагнетизм. Парамагнетизм.
8. Ферромагнетизм. Доменная структура. Модель Стокера–Вольфарта.
9. Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект.
10. Электромагнитное поле в неподвижной среде. Электромагнитные волны. Уравнение Максвелла. Теорема Пойнтинга. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля.
11. Решение волнового уравнения. Электромагнитные волны. Западаывающие и опережающие потенциалы. Скорость распространения электромагнитных возмущений.
12. Отражение и преломление электромагнитной волны. Формулы Френеля. Методы расчета коэффициента отражения.
13. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Критическая длина волны. Фазовая и групповая скорость. Дисперсия.
14. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.
15. Излучение заряженных частиц. Условия излучения в неограниченном пространстве. Поле излучения системы зарядов. Волновая зона. Дипольное излучение осциллятора.



	<p>16. Излучение релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде. Спонтанное и индуцированное излучение. Вынужденное комбинационное рассеяние.</p> <p>17. Численные методы решения краевых задач электродинамики. Метод конечных разностей. Быстрое преобразование Фурье, методы прогонки и циклической редукции. Метод конечных элементов. Вариационно-разностные методы.</p> <p>18. Функции Грина. Метод интегральных уравнений.</p>
<p><b>2. Основы теории электрических цепей</b></p>	<p>1. Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Метод эквивалентного генератора.</p> <p>2. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями.</p> <p>3. Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Классический метод. Операторный метод (преобразование Лапласа). Метод переменных состояний.</p> <p>4. Преобразование Фурье. Интеграл Дюамеля. Цепные схемы, передаточные функции. Обратная связь, электрические фильтры.</p> <p>5. Цепи с распределенными параметрами. Длинные линии. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме.</p> <p>6. Падающие и отраженные волны. Распределение токов и напряжений в линии. Входное сопротивление линии.</p> <p>7. Согласование длинных линий.</p> <p>8. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме.</p> <p>9. Синтез пассивных линейных двухполосников. Свойства входных функций пассивных двухполосников. Положительные вещественные функции. Критерии физической реализуемости. Алгоритм Кауэра. Алгоритм Фостера.</p> <p>10. Синтез четырехполосников по трем заданным <math>Z</math>- или <math>Y</math>-параметрам, по передаточной функции в виде <math>G</math>-образного звена из <math>rC</math> или <math>rL</math>-элементов.</p> <p>11. Синтез неуравновешенных четырехполосников в виде каскадного соединения.</p> <p>12. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Графические методы – лестничная структура, схемы с двумя узлами. Метод кусочно-линейной аппроксимации.</p> <p>13. Трансформатор с ферромагнитным сердечником. Цепи с ферромагнетиками. Феррорезонанс.</p> <p>14. Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Метод интегрируемой аппроксимации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод малого параметра. Метод интегральных уравнений.</p>



	<p>15. Вариационные методы расчета.</p> <p>16. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.</p> <p><b>3. Строение вещества</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа.</li> <li>2. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Ударные волны в идеальном газе.</li> <li>3. Эффективное сечение и средняя длина свободного пробега. Процессы переноса.</li> <li>4. Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений.</li> <li>5. Механизмы ионизации и рекомбинации в плазме. Термическая ионизация, уравнение Саха. Дебаевский радиус.</li> <li>6. Плазменная частота. Испускание и поглощение фотонов.</li> <li>7. Диффузия и дрейф частиц. Амбиполярная диффузия. Соотношение между подвижностью и коэффициентами диффузии.</li> <li>8. Проводимость низкотемпературной плазмы. Проводимость полностью ионизированного газа (формула Спитцера).</li> <li>9. Образование непрерывного спектра в плазме. Свободно-свободные свободно-связанные переходы в нагретом ионизированном газе.</li> <li>10. Системы и методы плазменной энергетики. Плазменный пиролиз органических веществ. Плазменные системы переработки токсичных отходов. Генераторы низкотемпературной плазмы (плазмотроны), физические основы и техническая реализация.</li> <li>11. Жидкости. Макроскопические свойства жидкостей. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях.</li> <li>12. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки.</li> <li>13. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Работа выхода. Явление сверхпроводимости.</li> </ol>
<p><b>4. Вещество в сильных электромагнитных полях</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Эмиссия электронов из твердого тела.</li> <li>2. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.</li> <li>3. Газовый разряд. Формы разряда в газах, самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стимерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда.</li> <li>4. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах.</li> <li>5. Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Технический</li> </ol>



	<p>электролиз.</p> <p>6. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери. Электрическая прочность и пробой жидких диэлектриков. Ударные волны, генерируемые в конденсированной среде. Разряд в жидкостях.</p> <p>7. Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях. Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость.</p> <p>8. Эффект Холла. Термоэлектричество. Электрический взрыв проводников. Диэлектрические потери, электрическая прочность, пробой в твердом диэлектрике. Поверхностный разряд.</p> <p>9. Механическая прочность диэлектриков в сверхсильных магнитных полях. Магнитные материалы.</p> <p>10. Сверхпроводимость в постоянных и высокочастотных полях. Эффект Мейсснера. Остаточное сопротивление.</p>
<p><b>5. Накопление и коммутация энергии больших мощностей</b></p>	<p>1. Способы накопления энергии и типы накопителей. Физические ограничения на плотность энергии в накопителях.</p> <p>2. Способы передачи энергии от накопителей к нагрузке, оптимизация процесса передачи энергии. Согласование различных видов энергии.</p> <p>3. Преимущества и недостатки емкостных накопителей энергии.</p> <p>4. Емкостные накопители энергии на основе малоиндуктивных импульсных конденсаторов. Принципы построения генераторов импульсных напряжений и генераторов импульсных токов.</p> <p>5. Особенности работы коммутаторов в генераторах импульсных напряжений и генераторах импульсных токов. Коммутаторы емкостных накопителей энергии на основе конденсаторов (вакуумные, газовые, жидкостные разрядники, разрядные колонны). Схемы поджига и синхронизации разрядников.</p> <p>6. Жидкостные и твердотельные разрядники;</p> <p>7. Разрядники V/N-типа, рельсовые разрядники.</p> <p>8. Емкостные накопители на линиях с распределенными параметрами. Первичные и промежуточные емкостные накопители энергии. Оптимизация по напряжению и мощности накопителей энергии на линиях коаксиального типа с распределенными параметрами.</p>
<p><b>6. Физика сильноточных пучков заряженных частиц</b></p>	<p>1. Распространение сильноточных пучков в вакууме. Влияние пространственного заряда. Предельный ток пучка в вакууме.</p> <p>2. Нейтрализация пространственного заряда и самофокусировка пучка.</p> <p>3. Сильноточный пучок в плазме и газе. Неустойчивости пучка в плазме, электромагнитные поля, возбуждаемые пучком при инжекции.</p> <p>4. Ионизация газа электронным пучком. Энергозатраты на поддержание плазмы.</p> <p>5. Способы генерации сильноточных электронных и ионных пучков.</p> <p>6. Взрывная эмиссия в сильноточном диоде. Плоский диод в режиме Богуславского-Ленгмюра.</p>



	<p>7. Волны и неустойчивости в сильноточных пучках заряженных частиц.</p> <p>8. Электростатическая и электродинамическая неустойчивости волн пространный заряда пучка.</p> <p><b>7. Физика и техника устройств на основе низкотемпературной плазмы</b></p> <p>1. Процессы в низкотемпературной плазме. Основные параметры плазмы. Типы газовых разрядов.</p> <p>2. Плазмотроны, используемые в плазмохимии и металлургии. Устройства на основе электрических дуговых разрядов.</p> <p>3. Плазменные генераторы, использующие высокочастотные разряды разных типов.</p> <p>4. Плазмохимические, металлургические и другие устройства на основе совместного применения мощных электрических дуговых разрядов и электромагнитных полей.</p> <p>5. Физика приэлектродных процессов в сильноточных дуговых разрядах. Образование катодных пятен и эрозия материала катода.</p>
<p><b>8. Компьютерные технологии</b></p>	<p>1. Расчет периодических структур методом Т-матриц.</p> <p>2. Метод разностных схем.</p> <p>3. Консервативные разностные схемы, метод прогонки.</p> <p>4. Расчет периодических структур с использованием консервативных разностных схем.</p> <p>5. Учёт дисперсии материальных параметров при расчёте методом конечных разностей.</p> <p>6. Нахождение рассеяния на системе тел, при помощи функции грин, методы расчета трёхмерных периодических структур.</p> <p>7. Особенности современных расчетных пакетов программ.</p>

Зам.директора по научной работе  
ИТПЭ РАН

К.Н. Розанов

Программу разработал

А.П. Виноградов

Ученый секретарь, заведующий  
аспирантурой ИТПЭ РАН

А.Т. Кунавин